

引文格式: 万怡平, 习晓环, 王成, 等. TLS技术在表面复杂文物三维重建中的应用研究[J]. 测绘通报, 2014(11): 57-59. DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2014.0363

TLS技术在表面复杂文物三维重建中的应用研究

万怡平^{1,2}, 习晓环¹, 王成¹, 王方建^{1,2}

(1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

3D Reconstruction of Ornamental Column Based on Terrestrial Laser Scanning Data

WAN Yiping, XI Xiaohuan, WANG Cheng, WANG Fangjian

摘要: 以北京大学西门内一尊华表的数字化和三维建模为例, 分析了地面三维激光扫描(TLS)技术在表面复杂纹理地物三维重建中的难点, 并提出相应的解决方案, 包括数据获取时扫描仪选择, 反射片与表面无法完全贴合对多站点数据配准的影响, 站点位置和脉冲频率对模型和纹理映射的影响, 真三维模型构建中三维模型与二维纹理的准确映射问题等。该研究对地面三维激光扫描技术在其他文化遗产的记录、保存和建模中的应用具有一定的参考价值。

关键词: 地面三维激光扫描(TLS)技术; 华表; 数字化; 纹理; 三维建模

中图分类号: P234.5

文献标识码: B

文章编号: 0494-0911(2014)11-0057-03

一、引言

华表、石狮、石刻等文化遗产是古人留给我们的宝贵财富, 蕴含着丰富的文化内涵和历史底蕴, 如华表是我国古代宫殿、陵墓等大型建筑物前用于装饰的巨大石柱, 一般由底座、蟠龙柱、承露盘和其上的蹲兽组成, 柱身多雕刻龙凤等图案, 表面往往具有复杂而丰富的纹理信息, 对其进行数字化和真三维建模, 不仅可以从形式上进行全方位的展现, 而且对于保护和传播华表石刻文化具有重要的意义。

地面三维激光扫描(terrestrial laser scanner, TLS)技术可以直接、快速获取地物表面高精度、高密度的三维空间信息, 结合仪器携带的高分辨率数码相机, 能够十分逼真地保留物体及其细部特征信息, 因此自其面世就被广泛用于文化遗产的记录和保护中。1999年美国斯坦福大学利用TLS技术对米开朗基罗雕像进行了数字化^[1]。2007年德国汉堡大学利用TLS技术获取了太平洋复活岛上石像不同年份的高密度点云信息, 分别构建了三维数字模型, 进而分析了石像随时间的变形情况^[2]。故宫博物院联合北京建筑工程学院利用TLS技术开展了“古建筑数字化测量技术研究”, 对故宫太和殿等主要建筑进行了精细数字化, 并构建三维模型^[3-5]。周伟等利用TLS技术对北京颐和园佛香阁进行了整体扫描, 探讨了TLS技术在大型古建筑变形监测中的应用和可行性^[6]。2011年中国文化遗产研究院采用TLS技术对重庆大足石刻的千手观音进行

了数字化扫描, 为其抢救性恢复提供了精确的模型支持^[7]。邓非等利用TLS技术对武汉大学老图书馆进行了扫描和拍照, 通过在点云和图像上分别提取特征直线, 利用共面条件, 解算了各张照片相对于激光扫描坐标系的方位元素; 然后利用已配准的两种传感器数据, 提取建筑物框架并映射纹理, 生成了图书馆的三维模型^[8]。2012年国家自然科学基金重大项目“中国石窟寺考古中3D数字技术的理论、方法和应用研究”立项^[9], 尝试将三维激光扫描技术用于石窟等的考古调查, 并建立了石窟的真实三维数字模型。已有的这些研究对于表面复杂、凹凸不平的地物的精细建模以及对其中的关键问题探讨方面的内容很少, TLS技术在石狮、华表等纹理丰富地物数字化和建模中的应用也很少有报道。

本文以北京大学西门内的一尊华表为例, 利用地面三维激光扫描技术对其进行数字化和三维建模, 分析了建模中的关键技术和需要注意的问题, 以期对表面细节丰富地物的数字化和建模提供技术支持, 推动TLS技术在文化遗产记录和保护中的深入应用。

二、扫描对象与数据获取

试验所用设备为奥地利Riegl公司生产的Riegl-VZ1000地面三维激光扫描仪, 最大脉冲频率30 KHz, 可以水平360°、垂直100°扫描, 最大射程1400 m, 测距误差在100 m处为5 mm。图1为北京大学西门内的一尊华表, 高约8 m, 下方有1 m多高的八方形底座, 表面缠绕的蟠龙和其他纹理细节非

收稿日期: 2013-11-23

基金项目: 国家自然科学基金(41301485; 41171267)

作者简介: 万怡平(1990—), 男, 江西南昌人, 硕士生, 研究方向为激光雷达三维建模。

常丰富,如图2所示。



图1 华表 图2 华表柱身丰富的纹理

根据华表特点在扫描时架设了3个站点,即以华表底部为圆心,均匀分布在半径为10 m左右的圆周上,并在底座及柱身粘贴一定数量的反射片作为控制点,以利于后期数据预处理时多站点点云数据精确配准。首先进行水平方向360°粗扫,在此基础上选定目标物所在区域进行精扫,设置点密度为0.003 mrad;同时利用外置高分辨率数码相机获取华表表面影像,始终保持同一曝光条件,便于后期纹理贴图。

三、数据处理与三维重建

基于TLS技术的地物三维重建主要包括点云数据预处理、重采样构三角网,以及纹理映射构建真三维数字模型等。

1. 数据预处理

由于多站点扫描时获取的是每个测站局部坐标系下的数据,为了获取华表完整的空间信息,需要对多站点数据进行高精度配准,使其统一到同一个坐标系下。本研究利用RiScan Pro的多站点配准软件,并进行联合平差,得到完整的华表点云数据,如图3所示。

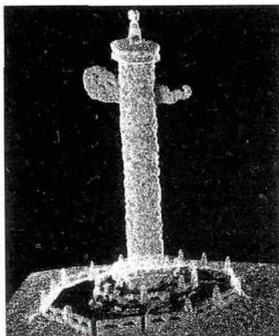


图3 华表原始激光点云数据

2. 构建网格模型

经过去噪后的点云数据可以用于构造不规则三角网模型。由于所获取华表的点云数据密度高、数据量大,且存在较大冗余,因此在构网前需要对点云进行重采样。最直接的方法是对一定区域内的点云

按照设定的阈值进行等间隔重采样,优点是速度快,但其弊端也是显而易见的,即无差别的重采样会使纹理丰富、曲率变化明显的地方产生变形,并丢失部分重要信息,尤其是对于表面细节丰富的地物。另一种方法是自适应性的,即在表面平缓区域适当加强抽稀程度,曲率变化明显区域简化力度直至不简化。本研究利用刘庆元等提出的针对机载激光点云数据简化的距离-梯度法^[10],在纹理变化小的区域对点云采用最小距离简化法,对于变化幅度大的区域,计算梯度并比较梯度值与阈值的大小来决定点的删除与保留,进而构造三角网和封装,即完成了模型的初步外形搭建,如图4所示。



图4 华表三角网格模型(部分)

3. 构建真三维数字模型

上述过程得到的仅为华表网格模型,还需要将其与同步获取的二维影像及纹理信息准确配准和贴图,即建立网格模型上各顶点与图像像素间的对应关系,才能得到华表真实的三维数字模型。本研究利用Geomagic软件提供的纹理贴图功能,通过在三角网模型与影像上寻找多个同名点,从而将影像的纹理信息映射到三维模型上,如图5所示。



图5 华表三维数字模型

四、问题与讨论

从图5可以明显看出,该模型的效果与华表本身有一定差距,如表面细节不够丰富、色彩差异等,一方面与获取的数据有关,如有数据缺失、纹理细节丰富区域的点云密度不够高等,也与后期建模所采用的方法有关,具体分析如下。

1. 扫描仪选择

本研究利用的 Riegl VZ 1000 为脉冲式扫描仪, 相对于相位式(如 Faro FOCUS3D)扫描仪, 其优点是扫描距离远, 但脉冲频率低(后者可达 100 万点/s)。因此对于表面凹凸不平、细节丰富的地物, 采用相位式扫描系统可以在同样的时间内获取地物高密度、更为丰富的三维信息。此外, 对于局部细节有时还需要借助手持式扫描仪(如 Handyscan3D 等)才能获取更精细的数据和模型。

2. 扫描站点及反射片布设

为了获取地物完整的三维信息, 通常需要在不同的角度架设多个扫描站点, 并通过粘贴一定数量的反射片来实现多站点数据的配准。本研究在地面设置 3 个站点, 反射片均位于人站在地面可以触及的部位, 这样华表顶部的信息无法获取, 难以保证地物上部点云配准的精度。因此对于此类地物, 需要通过塔架均匀布设反射片并从高处进行扫描, 以便获取更完整的信息。

3. 地物表面凹凸不平

由于华表柱身纹理细节非常丰富, 而且凹凸不平, 这样反射片很难与柱身完全贴合, 在华表表面形成一个个小凸包(图 6 中的发射片 1 和 2), 特别是纹理细节非常丰富的部位, 导致配准出现一定误差, 从而影响最终模型的纹理细节不够丰富和逼真, 结合手持式如 Handyscan3D 等对局部进行完善可以得到更好的效果。



图 6 反射片在点云中的显示效果(并非平面)

4. 纹理映射

纹理映射一般通过人机交互在三维模型和影像上采集同名点来实现, 这个过程难免会产生误差, 进而对纹理贴图的效果产生直接影响, 如接缝处纹理错位、变形、纹理贴合位置与真实位置出现偏差等, 其中同名点的选取起决定作用。对于表面纹理细节十分丰富的华表, 同名点应在纹理丰富且边界拐角信息明显处选取, 不能出现在同一直线上, 最好还要确保 Z 值方向有一定的落差, 只有均匀合理分布的同名点才能实现影像在模型上的准确无变形定位。同时, 影像的优劣也决定纹理贴图的效果。所获取影像应是正射影像, 且影像间保持一定的重叠度, 曝光条件一致,

否则在纹理贴图中必然产生变形和色彩差异。

五、结束语

本文通过对一尊华表的扫描, 探讨了 TLS 技术对纹理复杂地物的数字化和三维建模, 对其中的问题进行了分析, 对于表面凹凸不平、纹理细节十分丰富的局部区域, 需要结合手持式高密度三维激光扫描仪, 这样才能获得高精度、完整的地物数字模型。当前 TLS 在文化遗产尤其是石刻类遗产记录、保存和修复中发挥着越来越重要的作用, 因此研究结果对于 TLS 技术在文物中的应用有重要的参考价值。本文从视觉效果方面对所构建模型进行了分析, 未能采用合理有效的定量评价指标进行模型的精度评价, 需要利用全站仪等仪器来协助分析, 这也是目前 TLS 技术应用中亟待解决的问题。

参考文献:

- [1] LEVOY M. The Digital Michelangelo Project David [EB/OL]. 2002-04-29 [2013-08-19]. <http://graphics.stanford.edu/projects/mich/toppan-credits.html>.
- [2] KERSTEN T P, LINDSTAEDT M, VOGT B. Preserve the Past for the Future—Terrestrial Laser Scanner for the Documentation and Deformation Analysis of Easter Island's Moai [C]//The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing [s. n.], 2008.
- [3] 王莫. 三维激光扫描技术在故宫古建筑测绘中的应用研究[J]. 故宫博物院院刊, 2011(6): 143-156.
- [4] 黄慧敏, 王晏民, 胡春梅, 等. 地面激光雷达技术在故宫保和殿数字化测绘中的应用[J]. 北京建筑工程学院学报, 2012, 28(3): 33-38.
- [5] 丁延辉, 邱冬炜, 王凤利, 等. 基于地面三维激光扫描数据的建筑物三维模型重建[J]. 测绘通报, 2010(3): 55-57.
- [6] 周伟, 李奇, 李畅, 等. 利用激光扫描技术监测大型古建筑变形的研究[J]. 测绘通报, 2012(4): 52-54.
- [7] 京华时报. 重庆开修大足石刻千手观音[EB/OL]. 2011-04-19 [2013-03-24]. http://epaper.jinghua.cn/html/2011-04/19/content_651125.htm.
- [8] 邓非, 张祖勋, 张剑清. 利用激光扫描和数码相机进行古建筑三维重建研究[J]. 测绘科学, 2007, 32(2): 29-30.
- [9] 张春海. 三维数字技术融入石窟寺考古[EB/OL]. 2013-02-20 [2013-03-24]. <http://news.hexun.com/2013-02-20/151289355.html>.
- [10] 刘庆元, 赵福生, 胡静波. 机载激光雷达数据简化算法的研究[J]. 测绘科学, 2010, 35(2): 90-92.